动　物　学　研　究　2013，Dec. 34(6): 549−555　CN 53-1040/Q　ISSN 0254-5853
Zoological Research　DOI:10.11813/j.issn.0254-5853.2013.6.0549

鄱阳湖国家级自然保护区东方白鹳（*Ciconia boyciana*）种群数量变化与气候的关系

缪泸君，李言阔*，李　佳，谢光勇，袁芳凯

江西师范大学 生命科学学院，江西 南昌 330026

摘要：该研究分析了 1985—2011 年鄱阳湖国家级自然保护区东方白鹳（*Ciconia boyciana*）越冬种群数量的年际变化趋势，探究了越冬地气候条件对其种群数量变化的影响。结果表明，1985—2011 年，保护区东方白鹳种群数量为（1 340±178）只，呈显著线性增长趋势，但年际波动较大。种群数量与越冬当年 11 月份的平均最低气温显著正相关（r=0.554，P=0.003，n=27），越冬初期较低的温度可能影响东方白鹳选择鄱阳湖作为长期越冬地的决策，而增加对长江中、下游其他湿地的利用。同时，越冬地气候条件对种群数量的影响存在显著的时滞效应。越冬初期以及越冬后期的气温变量与 2~9 年后的种群数量显著正相关。尤其是越冬初期 10 月份的气温变量与 2~5 年后的种群数量变化极显著相关，越冬后期 2 月和 3 月的气温变量分别与 8 年后和 3 年后的种数数量极显著正相关。多元线性回归分析结果表明，2 年前的 10 月平均最高温度、2 年前的 3 月平均最高气温、4 年前的 10 月平均最高温度、4 年前的 3 月平均气温是东方白鹳种群数量变化的显著预测变量，共同解释了种群数量年际变化的 79.2% （R^2=0.792，F=20.901，df=26，P=0.000）。越冬初期和末期可能是个体迁飞后补充能量和迁飞前积累能量的关键阶段，适宜的气温有利于成体的能量积累和幼体的存活，且东方白鹳性成熟年龄为 2~6 年，因此，越冬地气候条件对其种群增长的影响将会在 2 年后体现。

关键词：鄱阳湖；东方白鹳；种群数量波动；气候变化
中图分类号：Q959.7　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：0254-5853-(2013)06-0549-07

The correlations between population of Oriental white stork and climate change in the Poyang Lake National Nature Reserve

Lu-Jun MIAO, Yan-Kuo LI, Jia LI, Guang-Yong XIE, Fang-Kai YUAN

College of Life Sciences, *Jiangxi Normal University*, *Nanchang* 33022, *China*

Abstract: This study analyzed the population dynamics of the Oriental white stork (*Ciconia boyciana*) wintering in the Poyang Lake National Nature Reserve (PLNNR) from 1985 to 2011, to see if there was any relationship with climate change. Testing of several climate variables—monthly average temperature, monthly average maximum and minimum temperature, as well as monthly precipitation—indicated that the population size of the Oriental white stork in the PLNNR was 1,340±178 ind., with significant linear increase and drastic annual fluctuation. Every single year, the population size only significantly correlated with the average minimum temperature of Nov. In theory, the low temperature of Nov. could drive individuals to choose other wetlands in the middle and lower reaches of the Yangtze River, instead of the Poyang Lake as wintering habitats. Meanwhile, temperatures in wintering areas also showed a carry-over effect on subsequent population size. Temperatures in primary stage and later stage of wintering period were significantly correlated with population size 2−9 years later, while the temperature of Oct. was highly significantly correlated with population size 2−5 years after. Temperatures of Feb. and Mar. in the later stage of wintering period were highly significantly correlated with population size of 8 and 3 years after, respectively. Moreover, the stepwise linear regression result showed that the average maximum temperature of Oct. and average maximum temperature of Mar. 2 years ago, as well as the average maximum temperature of Oct. and the average temperature of Mar. 4 years ago were significant predictor factors of the population size fluctuation of the Oriental white stork, which totally accounted for 79.2% of the population size change.

Keywords: Poyang Lake; Oriental white stork; Population fluctuation; Climate change

收稿日期：2013-09-27；接受日期：2013-10-24
基金项目：国家自然科学基金 (31000196)；“国家级自然保护区生态环境十年变化调查与评估”（环保重大专项，STSN-7）
*通信作者（Corresponding author），E-mail: liyankuo@126.com
第一作者简介：缪泸君，男，硕士研究生；研究方向：动物生态学；E-mail：miaolujun@126.com

气候条件是影响生物生存的重要环境因子。气候及其变化对种群数量波动的影响是鸟类学家关注的焦点之一。近年来的研究表明，气候变化会对鸟类的种群数量动态产生较强的影响（Both et al，2006；Crick，2004）。例如，极端气候事件可能会直接导致死亡率的迅速提高，甚至导致局部种群的灭绝（Schreiber et al，1984）。天气条件也可能通过改变食物资源的数量和质量影响成体存活率和繁殖成功率，进而影响鸟类的种群数量（Cormont et al，2012）。该影响具有一定的时滞性，即在生活史某一阶段的气候条件对种群的影响需经过一定的时间方才显现（Yalden & Pearce-Higgins，1997）。某些留鸟成体的存活率与非繁殖期的天气条件存在显著相关性（Jones et al，2003），越冬期的不利天气将导致迁徙鸟类繁殖成功率下降，第二年种群数量下降。譬如，大天鹅（*Cygnus cygnus*）在越冬地幼体的比例与上一年冬季的平均气温显著相关，冬季气温将影响后期的繁殖成功率（Nilsson，1979）。

大多数迁徙鸟类种群数量的年际变化主要受其繁殖地生存条件的影响，但也有研究发现某些迁徙鸟类的种群数量受其越冬地生存条件的影响，如水蒲苇莺（*Acrocephalus schoenobaenus*）、崖沙燕（*Riparia riparia*）及草鹭（*Ardea purpurea*）等（Peach et al，1991；Bryant et al，1995；Den Held，1981）。对于雁鸭类等水禽，其后期的繁殖成功率还受越冬地和迁徙停歇地食物条件等因素的影响（Newton，2004）。因此，迁徙鸟类种群动态制约因素研究需考虑繁殖地、越冬地及迁徙停歇地的环境条件。

东方白鹳（*Ciconia boyciana*）全球种群现存仅~3 000 只个体，被 IUCN 红皮书列为濒危物种（Birdlife International，2013），也是我国国家 I 级重点保护野生动物（China Wildlife Propagation Institution for Protection，1989）。东方白鹳繁殖地主要位于中国和俄罗斯交界的黑龙江和乌苏里江流域，越冬地为我国长江中、下游地区（Birdlife International，2013）。其中，鄱阳湖区是东方白鹳在长江中、下游地区的主要越冬地。近年来，该区越冬东方白鹳种群数量表现出较大波动（Li et al，2011）。本研究分析鄱阳湖国家级自然保护区（以下简称保护区）1985—2011 年（27 a）越冬东方白鹳种群数量的年际变化与越冬地气候变化的相关性及时滞效应，以及基于越冬地气候条件的种群数量波动模型与种群波动趋势的拟合程度。

1 材料与方法

1.1 研究地区概况

鄱阳湖湿地是我国最大的淡水湖泊湿地，位于长江南岸的江西省北部（E115°49′~116°46′，N28°11′~29°51′）。鄱阳湖为季节性吞吐型湖泊，承接赣江、抚河、信江、饶河及修水五大河来水，并受长江来水影响，水位年变幅达 9.79~15.36 m，4 月进入汛期，呈湖相，7 月达最高水位，11 月进入枯水期，并持续至翌年 3 月，表现为典型的水陆交替湿地景观（Liu et al，2011）。气候特征属亚热带湿润季风型气候，热量丰富，雨量充沛，无霜期长，四季分明（Wang，2004）。1980—2011 年鄱阳湖区年平均温度为 18.0 ℃，并呈上升趋势，气温季节性变化明显，年平均降水量 1 607 mm，年际变化大，无明显增减趋势（图 1）。

鄱阳湖湿地已记录迁徙水鸟 310 种。其中，冬候鸟 155 种，夏候鸟 107 种，是白鹤（*Grus leucogeranus*）、白头鹤（*G. monacha*）、白枕鹤（*G.vipio*）、灰鹤（*G.grus*）、东方白鹳、小天鹅（*Cygnus columbianus*）等珍稀濒危鸟类的重要越冬地（Wu et al，2002）。

1.2 研究方法

保护区 1985—2011 年东方白鹳越冬种群数量数据来源包括：（1）1985—2000 年、2002—2006 年以及 2009 年保护区东方白鹳年度最大种群数量（Wu & Ji，2002；Li et al，2011）；（2）2007、2008、2010 及 2011 年保护区东方白鹳年度最大种群数量（Zhu et al，2012a，b）。（3）1998 年及 2001 年环鄱阳湖水鸟调查所记录的东方白鹳种群数量（Li et al，2013）。其中，历年的东方白鹳种群数量均为保护区越冬种群的最大记录值。根据候鸟到达和迁离鄱阳湖的时间，将东方白鹳的越冬期分为越冬初期（当年 10 月—11 月）、越冬中期（当年 12 月—翌年 1 月）及越冬后期（翌年 2 月—3 月）。气象数据引用《中国地面气候资料月值数据集》南昌监测站 1975—2011 年的月值资料。

以种群数量为因变量，年份为自变量，采用曲线回归法分析保护区 1985—2011 年东方白鹳越冬种群数量的年际变化。利用 Kolmogorov-Smirnov test 及 Pearson 相关分析检验种群数量动态与越冬期各月平均气温、平均最低与最高气温

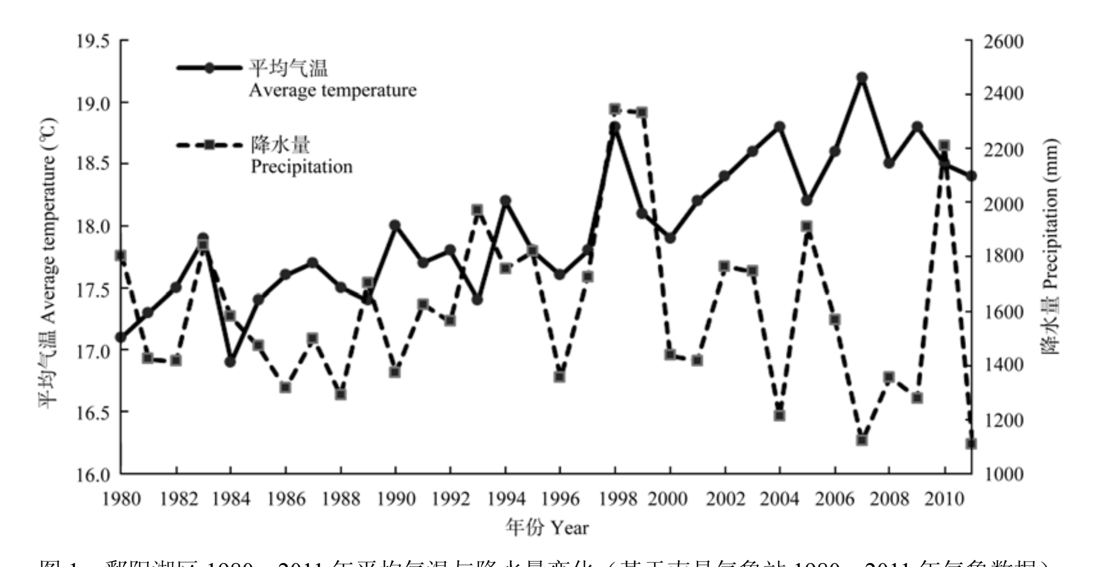


图 1　鄱阳湖区 1980—2011 年平均气温与降水量变化（基于南昌气象站 1980—2011 年气象数据）
Figure 1　Changes in annual average temperature and precipitation in the Poyang Lake from 1980 to 2011 （based on the data of Nanchang weather station）

以及月降水量等气候变量的相关性。检验越冬地气候变量与其后 10 年内东方白鹳种群数量的相关性以分析气候变量影响的时滞效应。同时，对东方白鹳种群数量动态相关性分析结果进行检验以消除极端值的影响。此外，以保护区东方白鹳种群数量为因变量，以与其显著相关的气候变量作为自变量，进行 Stepwise 多元线性回归分析，建立保护区东方白鹳种群数量动态预测模型，并使用 VIF 值进行共线性诊断（Yang & Zhang，2000；Yang et al，2012；Chatterjee & Price，1991）。数值统计以 mean±*SE* 表示，数据分析在 Spss13.0 中完成。

2　结　果

2.1　东方白鹳种群数量年际变化

1985—2011 年，保护区东方白鹳平均越冬种群数量为（1340±177）只，最小种群数量出现在 1992 年，为 321 只，最大种群数量出现在 2010 年，为 3446 只，年际波动较大（图 2）。自 1998 年开始，越冬种群数量明显增加，1984—1997 年，为（609±49）只，1998—2011 年，为（2 018±215）只，种群数量整体呈显著线性增长趋势（R^2=0.735，F=69.414，df=26，P<0.01）。

2.2　东方白鹳种群数量与越冬地气候变量的关系

1985—2011 年，越冬初期，保护区东方白鹳种群数量与越冬初期 10 月份降水量（r=0.069，P=0.731，n=27）、平均气温（r=0.323，P=0.100，n=27）、平均最低气温（r=0.378，P=0.052，n=27）及平均最高气温（r=0.205，P=0.305，n=27）均不相关；与 11 月份降水量（r=0.110，P=0.585，n=27）、平均最高气温（r=0.209，P=0.306，n=26）及平均

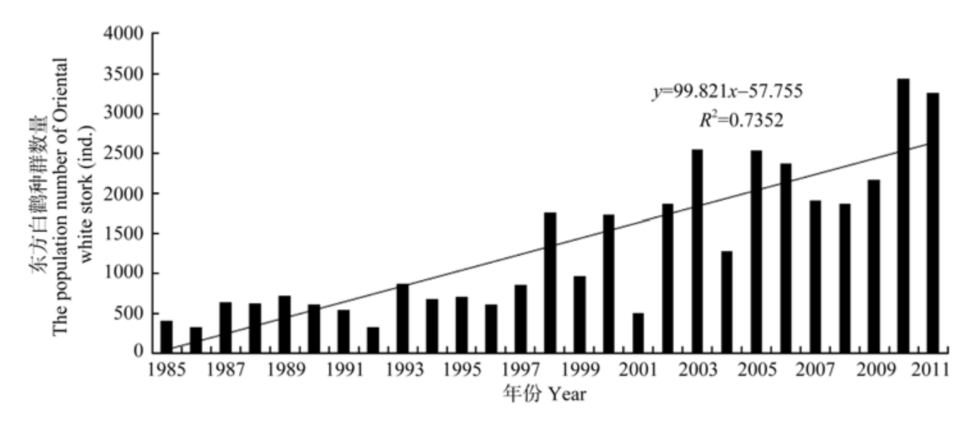


图 2　鄱阳湖国家级自然保护区 1985—2011 年东方白鹳种群数量年际变化
Figure 2　Annual population dynamics of the Oriental white stork in the PLNNR from 1985 to 2011

气温（r=0.317，P=0.115，n=26）均不相关；与 11 月平均最低气温显著正相关（r=0.554，P=0.003，n=27）。

越冬中期，种群数量与12月份降水量（r=0.113，P=0.573，n=27）、平均气温（r=0.080，P=0.692，n=27）、平均最低气温（r=0.201，P=0.315，n=27）及平均最高气温（r=−0.059，P=0.771，n=27）均不相关，与 1 月份降水量（r=−0.0160，P=0.424, n=27）、平均气温（r=−0.230，P=0.249，n=27）、平均最低气温（r=−0.139，P=0.490，n=27）及平均最高气温（r=−0.303，P=0.124，n=27）均不相关。

越冬后期，种群数量与 2 月份降水量（r=−0.031，P=0.878，n=27）、平均气温（r=0.192，P=0.337，n=27）、平均最低气温（r=0.195，P=0.329，n=27）及平均最高气温（r=0.191，P=0.339，n=27）均不相关，与 3 月份降水量（r=−0.171，P=0.394，n=27）、平均气温（r=0.270，P=0.173，n=27）、平均最低气温（r=0.210，P=0.293，n=27）及平均最高气温（r=0.306，P=0.120，n=27）均不相关。

2.3 气候对种群数量影响的时滞效应

考虑时滞效应，越冬初期，10 月平均最低气温与一年后（r=0.461，P=0.016，n=27）及两年后（r=0.579，P=0.002，n=27）的东方白鹳种群数量均显著正相关；10 月份平均气温与两年后（r=0.730，P=0.000，n=27）及 5 年后的种群数量（r=0.511，P=0.006，n=27）均显著正相关；10 月平均最高气温与两年后（r=0.777，P=0.000，n=27，图 3）、四年后（r=0.612，P=0.001，n=27）及 5 年后的种群数量（r=0.501，P=0.008，n=27）均显著正相关；11 月平均气温（r=0.472，P=0.013，n=27）及 11 月平均最低气温（r=0.463，P=0.015，n=27）均与四年后的种群数量显著正相关。

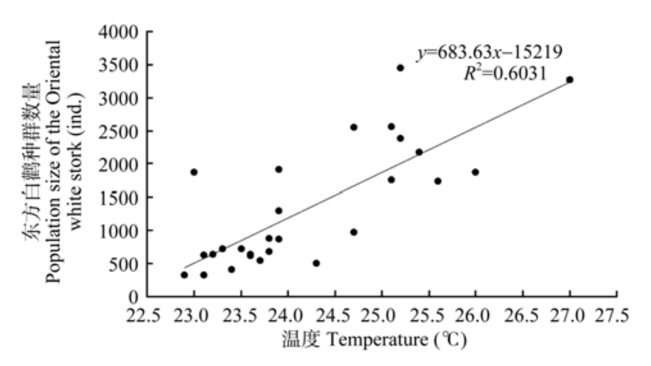


图 3 鄱阳湖国家级自然保护区 1985—2011 年东方白鹳种群数量与越冬地 2 年前 10 月份平均最高气温相关性

Figure 3 Correlations of the population size of the Oriental white stork in the PLNNR and the average maximum temperature of Oct. 2 years ago

越冬中期，12 月气候变量与其后 10 年内东方白鹳种群数量动态变化无显著相关性，1 月平均最低气温与 5 年后的种群数量显著正相关（r=0.427，P=0.026，n=27）。

越冬后期，2 月份平均气温与两年后（r=0.471，P=0.013，n=27）、8 年后（r=0.610，P=0.001，n=27）及 9 年后（r=0.557，P=0.003，n=27）的种群数量均显著正相关；2 月份平均最高气温与两年后（r=0.449，p=0.019，n=27）、8 年后（r=0.580，P=0.002，n=27）及 9 年后（r=0.444，P=0.020，n=27）的种群数量均显著正相关；2 月份平均最低气温与 8 年后（r=0.602，P=0.001，n=27）及 9 年后的种群数量（r=0.628，P=0.000，n=27）均显著正相关。3 月份平均气温与一年后（r=0.396，P=0.041，n=27）、两年后（r=0.483，P=0.026，n=27）、3 年后（r=0.461，P=0.045，n=27）、4 年后（r=0.705，P=0.000，n=27，图 4）、6 年后（r=0.452，P=0.018，n=27），9 年后（r=0.441，P=0.021，n=27）及 10 年后的种群数量（r=0.405，P=0.036，n=27）均显著正相关。

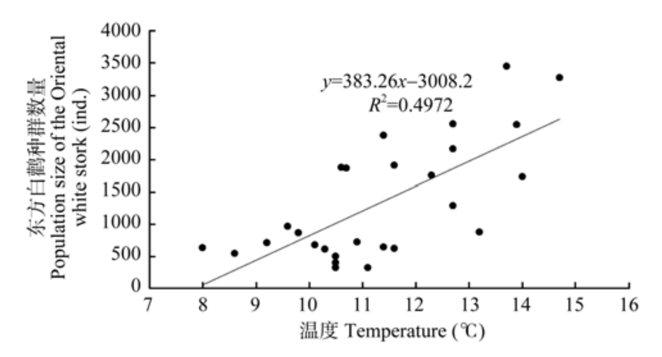


图 4 鄱阳湖国家级自然保护区 1985—2011 年东方白鹳种群数量与越冬地 4 年前 3 月份平均气温的相关性

Figure 4 Correlations of the population size of the Oriental white stork in the PLNNR and the average temperature of Mar. 4 years ago

3 月份平均最低气温与两年后（r=0.428，P=0.026，n=27）、3 年后（r=0.408，P=0.035，n=27）、4 年后（r=0.673，P=0.000，n=27，图 5）、6 年后（r=0.383，P=0.049，n=27）及 9 年后的种群数量（r=0.427，P=0.026，n=27）均显著正相关。

3 月份平均最高气温与两年后（r=0.516，P=0.006，n=27）、3 年后（r=0.479，P=0.011，n=27）、4 年后（r=0.672，P=0.000，n=27，图6）及6 年后的种群数量（r=0.462，P=0.015，n=27）均显著正相关。

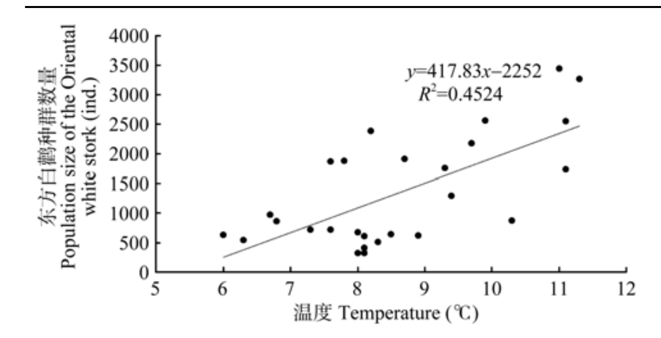


图 5　鄱阳湖国家级自然保护区 1985—2011 年东方白鹳种群数量与越冬地 4 年前 3 月份平均最低气温相关性

Figure 5　Correlations of the population size of the Oriental white stork in the PLNNR and the average minimum temperature of Mar. 4 years ago

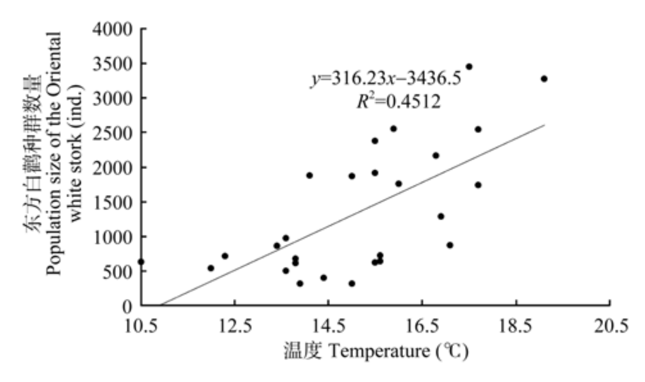


图 6　鄱阳湖国家级自然保护区 1985—2011 年东方白鹳种群数量与越冬地 4 年前 3 月份平均最高气温相关性

Figure 6　Correlations of the population size of the Oriental white stork in the PLNNR and the average maximum temperature of Mar. 4 years ago

2.4　基于气候变量的东方白鹳种群数量预测模型

将保护区 1985—2011 年东方白鹳越冬种群数量作为因变量，与其存在显著相关性的气候变量作为自变量，进行 Stepwise 线性回归分析，结果表明，两年前的 10 月平均最高温度、4 年前的 10 月最高温度、4 年前的 3 月平均气温及两年前的 3 月平均最高气温为显著预测变量（表 1）。其中，4 个变量的 VIF 值均＜5，表明进入模型的变量不存在显著共线性。模型中的 4 个变量共同解释了保护区东方白鹳种群数量变化的 79.2%（R^2=0.792，F=20.901，df=26，P=0.000）。

回归模型为 $Y=-15624+303.554X_1+251.510X_2+164.669X_3+112.250X_4$，其中 Y 为保护区东方白鹳越冬种群数量，X_1 为两年前 10 月平均最高气温，X_2 为 4 年前的 10 月平均最高气温，X_3 为四年前的 3 月平均气温，X_4 为两年前的 3 月平均最高气温。该模型较好地拟合了保护区东方白鹳种群数量变化趋势（图 7）。

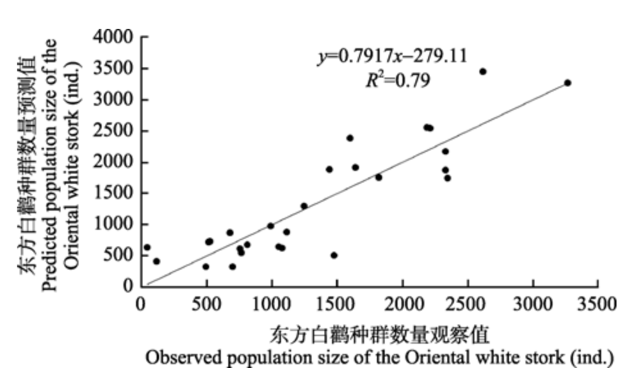


图 7　基于越冬地气候条件的东方白鹳种群数量变化模型的预测值与观察值比较

Figure 7 Comparisons of the predicted and observed population size of the Oriental white stork in the PLNNR

3　讨　论

在全球气候变暖的背景下，理解一个迁徙物种某一生活史阶段的气候条件如何对其后来的存活施加影响，已成为重要研究议题（McKellar et al，2012）。迁徙鸟类，尤其是长距离迁徙鸟类，其越冬地、迁徙停歇地和繁殖地气候条件差别极大，并均可能影响种群数量。东方白鹳主要在长江中、下游地区，尤其是鄱阳湖区越冬，越冬地相对固定。

表 1　1985—2011 年鄱阳湖国家级自然保护区东方白鹳种群数量与气候变量的线性回归分析

Table 1 The stepwise linear regression analysis for dependent variable of the Oriental White Stork population size during 1985−2011 and independent variables of climate

自变量 Independent variable	Standard coefficient	t	Sig.	VIF
常数项 Constant		−5.943	0.000	
2 年前 3 月平均最高气温 Average temperature of Mar. 2 years ago	0.240	2.134	0.044	1.331
4 年前 3 月平均最高气温 Average temperature of Mar. 4 years ago	0.303	2.409	0.025	1.670
2 年前 10 月平均最高气温 Average temperature of Oct. 2 years ago	0.345	2.459	0.022	2.077
4 年前 10 月平均最高气温 Average temperature of Oct. 4 years ago	0.305	2.712	0.013	1.322

分析其越冬地气候变化对该种群的影响可以消除广泛分布区的影响，有利于揭示气候变化与种群波动的关系。本研究发现越冬地气温变量是东方白鹳种群数量波动的显著预测因子，提供了一个气候变化影响鸟类种群数量动态的例证。

本研究发现东方白鹳种群数量与越冬当年 11 月份的平均最低气温显著正相关，与越冬当年其他月份的气候变量均无显著相关性。一般来说，除非出现极端不利的气候事件，否则越冬当年的气候条件对东方白鹳种群数量通常不会产生很大的影响。东方白鹳一般于 10 月底到达鄱阳湖，最早到达记录见于 2001 年和 2005 年的 10 月 15 日（Li et al，2011）。11 月份是东方白鹳到达鄱阳湖的高峰，此时，最低气温显然不可能对东方白鹳个体产生直接作用。我们推测，由于不必像繁殖季节被限制在以巢址为中心的有限区域活动，越冬期鸟类相对自由，可以活跃移动，寻找食物资源丰富的地区。越冬初期的鄱阳湖低温可能会使东方白鹳在接下来的越冬期间往来迁飞于长江中、下游的众多湿地，寻找适宜的栖息地，增加对鄱阳湖以外区域的利用，导致在鄱阳湖区越冬个体数量的减少。卫星跟踪研究发现，东方白鹳个体在越冬期的飞行距离可达数百公里（Van den Bossche et al，2001），在安徽省的升金湖和江西省的鄱阳湖之间迁飞，越冬范围没有局限在单一的湿地内（Wu et al，2000）。

本研究首次发现越冬地气候条件对东方白鹳种群数量变化的影响存在显著的时滞效应，即越冬地气温对种群的影响至少在 1 年后开始变得明显，并与 4 年后种群数量的变化存在极显著相关性，越冬期气温的升高伴随着 4 年后种群数量的极显著增加。该时滞效应可能与气候对幼体的影响以及东方白鹳的性成熟年龄有关。近年来，有研究发现有东方白鹳个体 2 岁龄达到性成熟（Jiang，2013），适宜的冬季气候条件更有利于幼鹳度过越冬期，使得更多的个体得以存活到繁殖年龄，并于 2 年后参加繁殖，导致 2 年后种群数量的增加。该时滞效应也见于气候对白鹤种群的影响。鄱阳湖冬季气候对白鹤种群数量的影响在 3 年后开始明显，可能与白鹤的性成熟年龄在 3—5 年有关（Li et al，2013）。

反之，越冬地恶劣的气候会导致几年后东方白鹳种群数量的减少。一方面，鄱阳湖水面结冰会对涉禽造成直接伤害，并可能造成个体数量的减少。如 2012 年冬季，在对保护区巡护监测中曾发现一只东方白鹳被冰冻住双腿而受伤（Yu，2013）。我们在鄱阳湖区的鸟类调查过程中也曾两次发现死亡的东方白鹳个体。另一方面，冬季寒冷的天气会增加动物体温调节所需的能量（Hobbs，1989），而恶劣的冬季可能伴随着食物可获得性的下降，譬如，寒冷冬季雨后或雪后的结冰使东方白鹳无法取食，能量供求之间的不平衡会增加冬季死亡率，即使没有直接导致个体的死亡，也可能影响东方白鹳的能量积累，使其体况下降。

能量是影响迁徙鸟类种群动态的一个重要因子。若能量储存不足，一些个体将无法及时迁徙，从而留在越冬地（Van Dijk et al，1990）。在停歇地如果不能补充到充足的能量，个体尤其是幼体被捕食的概率会增大（Bijlsma & Jones，1990）。本研究发现，2 年前的 10 月平均最高温度和 3 月平均最高气温、4 年前的 10 月最高温度和 3 月平均气温是东方白鹳种群数量年际变化趋势的显著预测变量，共同解释了保护区东方白鹳种群数量变化的 79.2%。这两个月份是东方白鹳的越冬初期和越冬末期，是结束和重启长距离迁徙的阶段，可能是种群补充能量的关键时期，这两个时期越冬地恶劣的天气可能会导致个体无法获得充足的能量，不利于能量恢复和积累，从而对种群数量带来不利影响。

参考文献：

Bijlsma RG. 1990. Predation by large falcons on wintering waders on the Banc d'Arguin, Mauritania. *Ardea,* **78**:75-82.

BirdLife International. 2013. Species factsheet: *Ciconia boyciana*. Downloaded from http://www.birdlife.orgon 01/08/2013. Recommended citation for factsheets for more than one species: *BirdLife International* (2013) *IUCN Red List for birds*. Downloaded fromhttp://www.birdlife.orgon 01/08/2013.

Both C, Bouwhuis S, Lessells CM, Visser ME. 2006. Climate change and population declines in a long-distance migratory bird. *Nature,* **441**(7089):):81-83.

Bryant DM, Jones G. 1995. Morphological changes in a population of Sand *Martins Riparia riparia* associated with fluctuations in population size. *Bird Study,* **42**(1):57-65.

Chatterjee S, Price B. 1991. Regression Analysis by Example. 2nd ed. New York: Wiley, 186-197.

China Wildlife Propagation Institution for Protection. 1989. The Law of Wild Animal Protection of People's Republic of China. *In*: List of Wild Animals under National Protection. Beijing: China Legal Press. [中国野生动植物保护司. 1989. 中华人民共和国野生动物保护法. 见:国家重点保护野生动物名录. 北京:中国法制出版社.]

Cormont A, Vos CC, van Turnhout CA, Foppen RP, ter Braak CJ. 2012. Using life-history traits to explain bird population responses to increasing weather variability. *Climate Research,* **49**(1):59-71.

Crick HQP. 2004. The impact of climate change on birds. *Ibis,* **146**(Suppl.1):48-56.

Den Held JJ. 1981. Population changes in the Purple Heron in relation to drought in the wintering area. *Ardea,* **69**(2):185-191.

Hobbs NT. 1989. Linking energy balance to survival in mule deer: development and test of a simulation model. *In*: Wildlife Monographs. Bethesda, Md.: Wildlife Society, 3-39.

Jiang GL. 2013-06-28. District Administration banding Lake National Nature Reserve of the Oriental White Stork first appeared in Inner Mongolia. *State Forestry Administration, P. R. China*, http://www.forestry.gov.cn/portal/main/s/102/content-612185.html [蒋甘露. 2013-6-28. 黑龙江兴凯湖国家级自然保护区管理局环志的东方白鹳首次现身内蒙古. 中国林业网. http://www.forestry.gov.cn/portal/main/s/102/ content-612185.html]

Jones J, Doran PJ, Holmes RT. 2003. Climate and food synchronize regional forest bird abundances. *Ecology,* **84**(11):3024-3032.

Li FS, Liu GH, Wu JD. 2011. Ecological Study of Wetlands and Waterbirds at Poyang Lake. Beijing: Popular Science Press. [李凤山, 刘观华, 吴建东. 2011. 鄱阳湖湿地和水鸟的生态研究. 北京:科学普及出版社.]

Li YK, Shan JH, Ma JZ, Tu XB. 2014. The population trend and spatial distribution pattern of oriental white stork wintering in Poyang lakes. *Zoological Research,*（in press） [李言阔, 单继红, 马建章, 钱法文, 涂晓斌. 2014. 鄱阳湖区东方白鹳种群数量动态与空间分布格局. 动物学研究](待发表)

Li YK, Qian FW, Shan JH, Li J, Yuan FK, Miao LJ, Xie GY. 2013. The effect of climate change on the population fluctuation of the Siberian crane in Poyang Lake. *Acta Ecologica Sinica*. DOI:10.5846/stxb201304150715. [李言阔, 钱法文, 单继红, 李佳, 袁芳凯, 缪泸君, 谢光勇. 2013. 气候变化对鄱阳湖白鹤越冬种群数量变化的影响. 生态学报, DOI:10.5846/stxb201304150715.]

Liu CL, Tan YJ, Lin LS, Tao HN, Tan HR. 2011. The wetland water level process and habitat of migratory birds in Lake Poyang. *Journal of Lake Sciences,* **23**(1):129-135. [刘成林, 谭胤静, 林联盛, 陶海南, 谭晦如. 2011. 鄱阳湖水位变化对候鸟栖息地的影响. 湖泊科学, 23(1):):129-135.]

McKellar AE, Marra PP, Hannon SJ, Studds CE, Ratcliffe LM. 2012. Winter rainfall predicts phenology in widely separated populations of a migrant songbird. *Oecologia,* **172**(2):595-605.

Nilsson L. 1979. Variation in the production of young of swans wintering in Sweden. *Wildfowl*, **30**:129-134.

Newton I. 2004. Population limitation in migrants. *Ibis,* **146**(2):197-226.

Peach W, Baillie S, Underhill L. 1991. Survival of British Sedge Warblers *Acrocephalus schoenobaenus* in relation to west African rainfall. *Ibis,* **133**(3):300-305.

Schreiber RW, Schreiber EA. 1984. Central pacific seabirds and the El Niño-Southern Oscillation:1982-1983 perspectives. *Science,* **225**(4663):713-716.

Van Dijk AJ, de Roder FE, Marteijn ECL, Spiekman H. 1990. Summering waders on the Banc d'Arguin, Mauritania:a census in June 1988. *Ardea,* **78**:145-156.

Van den Bossche W, Berthold P, Darman Y, Andronov V, Parilov M, Querner U. 2001. Satellite-tracking helps to discover stopover sites of threatened Oriental white stork (*Ciconia boyciana*). *Microwave Telemetry,* **2**(1):3-4.

Wang XH. 2004. Wetland Ecosystem Assessment of Poyang Lakes. Beijing: Science Press. [王晓鸿. 2004. 鄱阳湖湿地生态系统评估. 北京:科学出版社.]

Wu JD, Ji WT, Yi WS. 2000. Notes on hibernation of *Ciconia boyciana* in Poyang Lake. *Sichuan Journal of Zoology,* **19**(5):):31-33. [吴建东, 纪伟涛, 易武生. 2000. 在鄱阳湖越冬的东方白鹳的一些资料. 四川动物, **19**(5):31-33.]

Wu YH, Ji WT. 2002. Study on Jiangxi Poyang Lake National Nature Reserve. Beijing: Chinese Forestry Press.[吴英豪, 纪伟涛. 2002. 江西鄱阳湖国家级自然保护区研究. 北京:中国林业出版社.]

Yalden DW, Pearce-Higgins JW. 1997. Density-dependence and winter weather as factors affecting the size of a population of golden plovers *Pluvialis apricaria*. *Bird Study,* **44**(2):227-234.

Yang DB, Zhang JH. 2000. The multicollinearity and handing. *Journal of Datong Medical College,*(2):):9-10. [杨德斌, 张继红. 2000. 多元回归中的多元共线性及其处理. 大同医学专科学校学报, (2):9-10.]

Yang M, Xiao J, Cai H. 2012. Multivariate analysis of multicollinearity and its processing method. *Chinese Journal of Health Statistics,* **29**(4):):620-624. [杨梅, 肖静, 蔡辉. 2012. 多元分析中的多重共线性及其处理方法. 中国卫生统计, **29**(4):620-624.]

Yu HJ. 2013-01-07. One oriental white stork was frozen by the ice in lake surface. *Jiangxi Daily*, http://jiangxi.jxnews.com.cn/system/2013/01/07/012240408.shtml [余红举. 2013-01-07. 湖面结冰东方白鹳被冻住了.大江网-江西日报. http://jiangxi.jxnews.com.cn/system/2013/01/07/012240408.shtml]

Zhu Q, Liu GH, Wu JD. 2012a. The annual report on nature resource monitoring of Poyang Lake National Nature Reserve in 2010. Shanghai: Fudan University Press. [朱奇, 刘观华, 吴建东. 2012a. 江西鄱阳湖国家级保护区自然资源2010年监测年报. 上海:复旦大学出版社]

Zhu Q, Zhan HH, Liu GH, Wu JD, Zhan HY, Huang YZ, Huang J, Zhang B, Hu BH, Li Y. 2012b. Investigation of Number and Distribution of the Waterfowl of Poyang Lake in the Winter of 2011. *Jiangxi Forestry Science and Technology,*(3):):1-9. [朱奇, 詹耀煌, 刘观华, 吴建东, 詹慧英, 黄元政, 黄江, 章斌, 胡斌华, 李跃. 2012. 2011年冬鄱阳湖水鸟数量与分布调查. 江西林业科技,(3):1-9.]